

# 普通荞麦资源的耐铝性研究

潘守举, 陈庆富\*, 冯晓英, 谭永强

(贵州师范大学 生物技术与工程学院 植物遗传育种研究所, 贵阳 550001)

**摘要:** 利用小容器溶液培养法对耐铝性鉴定条件和 52 份普通荞麦栽培品种资源的耐铝性进行了研究。研究发现普通荞麦耐铝性鉴定的适宜条件为发芽种子于 500  $\mu\text{mol/L}$   $\text{AlCl}_3$  溶液(pH4.5)处理 3 d, 以发芽种子在这三天内的根伸长量衡量耐铝性程度。在该处理条件下, 普通荞麦不同品种间的耐铝性有显著差异。其中, 陕西大红花甜荞品种、日本大粒荞、织金红花甜荞的耐铝毒胁迫能力最强, 值得在荞麦耐铝性育种和耐铝机制研究中利用。

**关键词:** 普通荞麦; 耐铝性; 发芽种子

中图分类号: Q948.113 文献标识码: A 文章编号: 1000-3142(2008)02-0201-05

## $\text{Al}^{3+}$ tolerance of common buckwheat (*Fagopyrum esculentum*) resources

PAN Shou-Ju, CHEN Qing-Fu\*, FENG Xiao-Ying, TAN Yong-Qiang

(*Institute of Plant Genetics and Breeding, College of Biological Technology and Engineering, Guizhou Normal University, Guiyang 550001, China*)

**Abstract:** The estimating system of common buckwheat  $\text{Al}^{3+}$  tolerance and the  $\text{Al}^{3+}$  tolerance of 52 common buckwheat accessions were studied by means of test tube culture method. The results showed that the effective method of the  $\text{Al}^{3+}$ -tolerance identification for common buckwheat are to treat sprouting seeds three days in the 500  $\mu\text{mol/L}$   $\text{AlCl}_3$  solution(pH4.5) at 25  $^\circ\text{C}$  and to use the seed root growth length in the three days for evaluating the degree of  $\text{Al}^{3+}$  tolerance. The results of identification of  $\text{Al}^{3+}$ -resistance by this way showed that there are great variations of  $\text{Al}^{3+}$  tolerance among the different common buckwheat accessions. Among them, some accessions such as Dahonghua from Shaanxi, Dalqiqiao from Japan, and Honghuaqiao from Guizhou have much higher  $\text{Al}^{3+}$  tolerance than others, which can be used for studies on the buckwheat breeding and the mechanism of the buckwheat  $\text{Al}^{3+}$  tolerance.

**Key words:** common buckwheat;  $\text{Al}^{3+}$  tolerance; sprouting seed

铝作为地壳中含量最为丰富的金属元素, 仅次于氧和硅, 约占地壳的 7%。大多情况下, 土壤中的铝通常以难溶性的硅酸盐或氧化铝的形式存在, 是无毒的(沈宏等, 2001)。但在酸性土壤条件下, 土壤中难溶性的铝易转变为有毒的可溶性离子态铝, 对植物生长产生毒害。Ownby & Popham(1990)发

现铝毒胁迫处理 1~2 h 后就可能观察到植物根系的伸长明显受到了抑制。Llungany 等(1995)研究发现在铝毒处理的 30 min 内即可观察到影响。其对植物的毒害作用主要表现在: 抑制根的生长, 使植物对环境中矿质元素的吸收减少, 改变质膜的组成和功能, 扰乱植物钙代谢等(Taylor, 1998)。

收稿日期: 2006-12-25 修回日期: 2007-02-26

基金项目: 国家自然科学基金(30270852, 30471116); 国家“十一五”重点攻关项目(2006BAD02B06); 教育部新世纪人才支持计划(NCET2004-0931); 贵州师范大学重点学生课题(GNU-SP-2005-SJXY-A02)[Supported by the Natural Science Foundation of China(30270852, 30471116); Key Technology Research and Development Program of State 11th Five-Year Plan Project(2006BAD02B06); Program for New Century Excellent Talents in University(NCET-2004-0913); Key Student Project of Guizhou Normal University(GNU-SP-2005-SJXY-A02)]

作者简介: 潘守举(1981-), 男, 河南省夏邑县人, 硕士研究生, 研究方向为资源植物学。

\* 通讯作者(Author for correspondence, E-mail: cqfl1966@163.com)

我国酸性土壤主要是红壤,遍及南方 15 个省区,总面积  $2.03 \times 10^7 \text{ hm}^2$ , 约占全国土地总面积的 21% (刘强等, 2004)。因此酸性土壤中的铝毒已成为制约我国红壤区农业发展的重要因素之一。目前治理酸性土壤多通过施用石灰或是其它碱性物质的方法, 但生产成本投入大, 长期使用会破坏土壤, 影响生态平衡, 不利于酸性土壤地区农业的可持续发展。酸性土壤中的  $\text{Al}^{3+}$  对大部分农作物都有一定的毒害作用, 但不同植物种类和同一植物的不同品种间的耐铝性都存在着极大差异, 因此筛选和培育出耐铝的作物品种从长远看是一种最经济、有效和无污染的措施 (王芳等, 2005b; 2006)。

荞麦属于蓼科 (Polygonaceae) 荞麦属 (*Fagopyrum*), 是我国重要的传统杂粮作物, 具很高的营养价值和药用保健价值 (林汝法, 1994; 陈庆富, 2001)。荞麦有两个栽培种, 一个是甜荞 (*F. esculentum*), 即普通荞麦, 另一个是苦荞 (*F. tataricum*) (张以忠等, 2004)。其中普通荞麦在世界上栽培最为广泛, 几乎遍及所有种植粒用作物的国家。迄今为止有关荞麦铝毒胁迫方面的研究都以普通荞麦为材料, 一致表明, 普通荞麦有很强的耐铝性, 可作为酸性土壤上的改良作物 (李朝苏等, 2004)。但这些研究的实验材料多局限于少数几个普通荞麦栽培品种, 对普通荞麦不同品种间耐铝性差异方面的报道极少。现有荞麦耐铝性研究所使用的材料不一定是耐铝性最强的, 而耐铝性最强的品种可能有特殊机制和有更大的研究价值。

本研究通过采用小容积溶液培养法对荞麦耐铝性鉴定条件和 52 个普通荞麦栽培品种资源进行了耐铝性鉴定, 以便从中筛选出高度耐铝荞麦品种, 为荞麦耐铝性育种提供重要资源, 也为耐铝性机制研究奠定材料基础。

## 1 材料和方法

本研究所用的材料包括 52 份栽培甜荞品种的种子, 其编号、来源等信息见表 1。

### 1.1 铝离子溶液浓度和处理时间的筛选

选取贵州甜荞 (ES2005021802) 健康饱满的种子约 300 粒, 用 0.01% 的新洁尔灭消毒液进行表面消毒 50 s, 再用蒸馏水冲洗 3 次后, 转移到铺有湿润滤纸的干净培养皿中, 置于 25 °C 光照培养箱中培养 2~3 d。当大多数种子根长 3~4 cm 时, 选择根长 3

cm 左右、彼此差异不大的发芽种子, 转移到 50 mL 直形玻璃试管铝溶液里进行单株培养。本研究共设置 2 个对照 (A1、A2) 和 9 个处理 (A3~A11), 分别是 0 (pH7.0, 空白对照)、0 (对照)、10、20、50、100、200、500、1 000、2 000、4 000  $\mu\text{mol/L}$  的  $\text{AlCl}_3$  溶液 (pH4.5)。每个处理 8 颗发芽种子 (重复), 置于 25 °C 光照培养箱中培养, 每隔 24 h 测定一次根长, 连续进行 3 d 测量。每天计算其根伸长量。24 h 根伸长量 (mm) = 24 h 后根长 (mm) - 24 h 前根长 (mm)。处理 1、2、3 天分别记为 D1、D2、D3。

表 1 材料及其编号、产地、来源、代号

Table 1 The accessions, origin and symbol of common buckwheat

序号 No.	名称 Cultivar	编号* Accession	原产地 Origin	来源 Source	代号 Symbol
1	贵州甜荞	ES2005021802	贵州贵阳	IPGB	ES01
2	湖南武岗甜荞	ES2004102901	湖南武岗	IPGB	ES02
3	遵义甜荞	ES2004040102	贵州遵义	IPGB	ES03
4	兴义甜荞	ES2004090101	贵州兴义	IPGB	ES04
5	T05 六荞 1 号	ES2005061603	陕西杨陵	柴岩	ES05
6	威宁甜荞	ES2004010201	贵州威宁	IPGB	ES06
7	水城甜荞	ES2004010103	贵州水城	IPGB	ES07
8	道真甜荞	ES2003040101	贵州道真	IPGB	ES08
9	小甜荞	ES2005100802	贵州水城杨梅	IPGB	ES09
10	鸭溪甜荞	ES2006022401	贵州遵义鸭溪	IPGB	ES10
11	三穗甜荞	ES2005042701	贵州三穗	IPGB	ES11
12	八宿栽培甜荞	ES2005102201	西藏八宿县	IPGB	ES12
13	黔西甜荞	ES2004102902	贵州黔西	IPGB	ES13
14	淳化甜荞	ES2005092301	陕西淳化	IPGB	ES14
15	捷克荞麦	ES2004082001	捷克共和国	IPGB	ES15
16	T03 8802-1	ES2005061601	陕西杨陵	柴岩	ES16
17	T01 北早生	ES2005061602	陕西杨陵	柴岩	ES17
18	遵义红花岗甜荞	ES2004110101	贵州遵义红花岗	IPGB	ES18
19	绥阳甜荞	ES2003110102	贵州绥阳芳垭镇	IPGB	ES19
20	T04 平荞 2 号 ck	ES2005061604	陕西杨陵	柴岩	ES20
21	T02 固引 1 号	ES2005061605	陕西杨陵	柴岩	ES21
22	T06 榆荞-4	ES2005061606	陕西杨陵	柴岩	ES22
23	山西甜荞	ES2006021802	山西农科院	IPGB	ES23
24	盘县甜荞	ES2005052101	贵州盘县	IPGB	ES24
25	大方甜荞	ES2004100702	贵州大方瓢井镇	IPGB	ES25
26	威宁红花甜荞 1	ES20051208001	贵州威宁	毛春	ES26
27	83-41	ES20051208002	贵州威宁	毛春	ES27
28	赫章红花甜荞	ES20051208004	贵州赫章	毛春	ES28
29	品比 3	ES20051208006	贵州威宁	毛春	ES29
30	F25 杂甜荞	ES20051208013	贵州威宁	毛春	ES30
31	单选 F5	ES20051208016	贵州威宁	毛春	ES31
32	大方白花甜荞	ES20051208019	贵州大方	毛春	ES32
33	鲁甸红花甜荞	ES20051208027	云南鲁甸	毛春	ES33

续表 1

序号 No.	名称 Cultivar	编号* Accession	原产地 Origin	来源 Source	代号 Symbol
34	大轮荞	ES20051208038	贵州织金	毛春	ES34
35	榆 T-04-02	ES20051208050	贵州威宁	毛春	ES35
36	01-2	ES20051208060	贵州威宁	毛春	ES36
37	织金红花甜荞	ES20051208094	贵州织金	毛春	ES37
38	织金白花甜荞	ES20051208095	贵州织金	毛春	ES38
39	花荞	ES20051208096	贵州遵义	毛春	ES39
40	小三棱甜荞	ES20051208128	内蒙古	毛春	ES40
41	大方红花甜荞	ES20051208129	贵州大方	毛春	ES41
42	大红花甜荞	ES20051208130	陕西	毛春	ES42
43	甜荞	ES20051208201	贵州威宁	毛春	ES43
44	威宁红花甜 荞 2	ES20051208133	贵州威宁	毛春	ES44
45	龙山甜荞	ES20051208136	贵州威宁	毛春	ES45
46	日本大粒荞	ES20051208138	内蒙古	毛春	ES46
47	榆荞 2 号	ES20051208139	陕西	毛春	ES47
48	沙石甜荞	ES20051208172	贵州赫章沙石	毛春	ES48
49	吉达甜荞	ES20051208174	贵州赫章吉达	毛春	ES49
50	雪山红花甜荞	ES20051208185	贵州威宁雪山	毛春	ES50
51	龙可红花甜荞	ES20051208188	贵州威宁龙可	毛春	ES51
52	赫章甜荞	ES20051208199	贵州赫章	毛春	ES52

\* 为植物遗传育种研究所(IPGB)种质资源库中的编号。The number of buckwheat resources in Germ-Plasm Pool of the Institute of Plant Genetics and Breeding(IPGB), Guizhou Normal University.

### 1.2 栽培甜荞品种资源的耐铝性测定

从每个荞麦资源品种中随机选取健康饱满的种子约 30 粒,按上述方法进行萌发培养,选择根长 3 cm 左右、彼此差异不大的发芽种子在上述实验所得适宜的处理浓度(500  $\mu\text{mol/L}$ )和处理时间(72 h)进行铝耐性鉴定。每个品种各处理 8 颗发芽种子(即 8 个重复),并设置 2 个对照(A1 和 A2),置于 25  $^{\circ}\text{C}$  光照培养箱中培养,处理前测定 1 次根长,处理 72 h 后再测定一次根长,统计 72h 根伸长量。

### 1.3 数据统计分析方法

采用 SAS v6.12 软件进行资料的统计分析。利用 Scott-Knott 聚类分析方法(王天行等,1992)对不同品种 72 h 根伸长量平均数进行聚类分析。

## 2 结果和分析

### 2.1 不同处理条件下贵州甜荞根的生长状况

所得数据及其多重比较结果见表 2。表 2 显示,贵州甜荞在第 1 对照(水-pH7.0,即处理 A1)下的根系生长状况最好,72 h 主根伸长量极显著高于第 2 对照(水-pH4.5,即处理 A2),暗示酸性条件不利于荞麦根的生长。这两个对照的主根和侧根生长

均极显著好于其它处理。

与两对照相比,在 A3~A11,9 个不同浓度  $\text{AlCl}_3$  溶液处理条件下,贵州甜荞根系的生长均显著受到了抑制,A4~A11 处理 72h 主根生长被抑制的程度均显著大于 A3,而 A4~A5,A5~A11 之间差异未达极显著水平。

表 2 贵州甜荞不同铝离子浓度及不同处理时间下的根伸长量平均值及 Duncan 多重比较 (mm)

Table 2 24 h root growth length averages and the Duncan multiple comparison of Guizhou Tianqiao among different  $\text{Al}^{3+}$  concentrations(A)and different treating times(D)

处理 Treatment	D1 The first day	D2 The second day	D3 The third day	$\bar{x}_i$	多重比较 Multiple comparison
A1	42.08	25.79	21.16	29.68	A
A2	26.04	29.20	23.00	24.55	B
A3	15.14	11.61	9.45	12.05	C
A4	9.21	4.56	3.93	5.90	D
A5	6.38	1.35	1.35	3.02	DE
A6	3.32	1.50	1.20	2.01	E
A7	4.95	1.20	0.58	2.24	E
A8	4.10	1.45	0.38	1.98	E
A9	3.35	0.90	0.59	1.61	E
A10	3.23	1.18	0.73	1.72	E
A11	2.65	0.74	0.62	1.34	E
$\bar{x}_j$	11.08	6.68	5.73	$\bar{x} = 7.83$	
多重比较 Multiple comparison	A	B	B		

注: $\alpha=0.01$ ,字母相同表示差异不显著。下同。

Note: The same letter means no significant difference at 0.01 level. The same below.

在 A3~A11 的 9 个  $\text{AlCl}_3$  溶液处理条件下,在刚开始处理的几个小时内,其原本是白色的根尖部位明显变成了黄色或浅黄色。随着处理时间的增加,其根的生长逐渐减慢甚至停止,根尖部位的颜色逐渐加深,有些成了黄褐色。

另外,在 A3~A7 的 5 个  $\text{AlCl}_3$  溶液处理条件下,尽管主根和侧根生长均明显受到抑制,但部分侧根仍有较多的生长,尤其在较低浓度(10 和 20  $\mu\text{mol/L}$ )下,侧根生长数量较多且较长;而在 500  $\mu\text{mol/L}$   $\text{AlCl}_3$  溶液处理条件下,贵州甜荞侧根停止生长(图 1)。说明在 500  $\mu\text{mol/L}$  浓度处理下,铝毒对其侧根生长的抑制已经达到较稳定状态,该浓度可作为铝耐性鉴定的最适浓度。

两个对照(A1、A2)72 h 主根伸长量之间无显著差异。不同铝离子浓度处理(A3~A11)下,其主根第 1 天均有一定生长,到第 2 天,生长显著被抑制,第 3

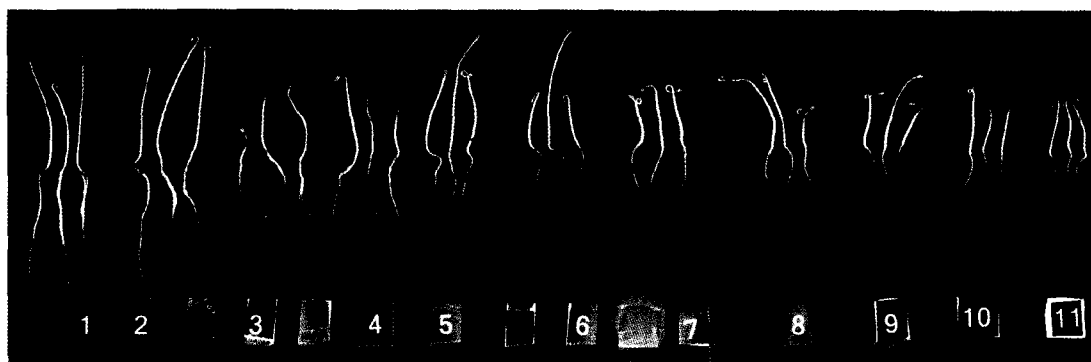


图 1 贵州甜荞不同铝离子浓度下处理三天后的根生长状况

Fig. 1 Seed roots of common buckwheat Guizhou Tianqiao treated with different concentrations of  $Al^{3+}$  for three days  
No. 1~11 in the figure are the different concentrations of  $AlCl_3$ , namely A1~A11.

表 3 52 份普通荞麦栽培品种资源 72 h 根伸长量之间的 Duncan 多重比较

Table 3 Duncan multiple comparison of the root length after 72 h culture among 52 common buckwheat accessions

代号 Symbol	平均根伸 长量(mm) Average root length	多重比较 Multiple comparison	代号 Symbol	平均根伸 长量(mm) Average root length	多重比较 Multiple comparison
ES42	9.86	A	ES16	4.94	BCDEFGHI
ES46	7.16	B	ES13	4.82	BCDEFGHI
ES37	6.90	B	ES34	4.68	BCDEFGHI
ES43	6.50	BC	ES18	4.66	BCDEFGHI
ES33	6.24	BCD	ES50	4.62	BCDEFGHI
ES25	6.24	BCD	ES10	4.55	BCDEFGHI
ES52	6.19	BCD	ES28	4.50	BCDEFGHI
ES40	6.14	BCDE	ES51	4.45	BCDEFGHI
ES45	6.12	BCDE	ES14	4.35	BCDEFGHI
ES01	5.92	BCDEF	ES44	4.35	BCDEFGHI
ES32	5.80	BCDEFG	ES49	4.34	BCDEFGHI
ES39	5.72	BCDEFG	ES05	4.32	BCDEFGHI
ES27	5.71	BCDEFG	ES15	4.20	BCDEFGHI
ES41	5.70	BCDEFG	ES06	4.20	BCDEFGHI
ES24	5.55	BCDEFGH	ES21	4.16	BCDEFGHI
ES02	5.44	BCDEFGH	ES29	3.88	CDEFGHI
ES47	5.35	BCDEFGHI	ES09	3.79	CDEFGHI
ES30	5.32	BCDEFGHI	ES20	3.62	CDEFGHI
ES31	5.29	BCDEFGHI	ES17	3.49	CDEFGHI
ES26	5.28	BCDEFGHI	ES23	3.28	DEFGHI
ES38	5.18	BCDEFGHI	ES11	3.26	DEFGHI
ES08	5.16	BCDEFGHI	ES12	3.13	EFGHI
ES35	5.16	BCDEFGHI	ES22	3.04	FGHI
ES48	5.11	BCDEFGHI	ES03	2.81	GHI
ES36	5.06	BCDEFGHI	ES19	2.54	HI
ES04	5.00	BCDEFGHI	ES07	2.38	I

天的生长被抑制程度更高。第 2 天与第 3 天的主根伸长量无显著差异,说明从第 2 天开始铝离子毒害已开始发挥作用,到处理第 3 天铝的毒害作用已趋于稳定。

综上所述,从节约工作量和获得稳定结果来看,

荞麦耐铝性鉴定的最适条件为:500  $\mu\text{mol/L}$   $AlCl_3$  溶液(pH4.5)处理 3 d。以 72 h 主根伸长量和根系生长状况对普通荞麦资源进行耐铝性鉴定较适宜。

## 2.2 栽培甜荞不同品种资源的耐铝性比较

采用 500  $\mu\text{mol/L}$   $AlCl_3$  溶液(pH4.5)处理 3 d,测定 72 h 主根伸长长度,对 52 份栽培甜荞资源进行耐铝性鉴定,结果见表 3。52 份不同普通荞麦品种 72h 根伸长量之间有极显著差异。其中,来自陕西的大红花甜荞耐铝毒胁迫能力最强,极显著强于其他品种,其次耐铝性较强的是日本大粒荞、织金红花甜荞,遵义甜荞、绥阳甜荞、水城甜荞的耐铝性最低。根据 52 份甜荞资源的 72 h 平均根伸长量,利用 Scott-Knott 聚类分析方法对这些栽培甜荞资源进行聚类分析,结果见图 2。根据群内差异不显著和群间差异显著的原则,52 份不同品种(系)栽培甜荞资源可以分成 4 类。其中,类 I 只包括大红花甜荞(ES46),说明该品种的耐铝性最强,这与品种间多重比较的结果相一致。类 II 中包括了日本大粒荞(ES42)、织金红花甜荞(ES37)等在内的 26 份栽培品种,这些品种的耐铝性相对较强。类 III 中有黔西甜荞(ES13)、大轮荞(ES34)等 16 个不同的栽培品种,这些品种的耐铝性相对较弱。类 IV 包括平荞 2 号(ES20)、北早生(ES17)等 9 个栽培甜荞品种,其耐铝性相对最差。

## 3 讨论

迄今为止国内有关荞麦铝毒胁迫的研究只限于少数普通荞麦品种(Ma 等,1997;章文华等,2002;

李朝苏等, 2004; 王芳等, 2005a, b)。本研究利用 50mL 玻璃直管组成的隔离培养装置对发芽种子进行小容积溶液培养三天, 结合普通荞麦种子根伸长量测定, 首次较大范围地对 36 份贵州地区甜荞品种和 16 份其它地区甜荞品种进行了耐铝性鉴定, 为荞

麦耐铝性鉴定提供了一个经济有效的耐铝性鉴定方法; 并且从中筛选出了一些耐铝性强的品种如陕西大红花甜荞、日本大粒荞、织金红花甜荞等, 还发现一些对铝毒特别敏感的普通荞麦品种如遵义甜荞、绥阳甜荞、水城甜荞等。这些资源将为荞麦耐铝性

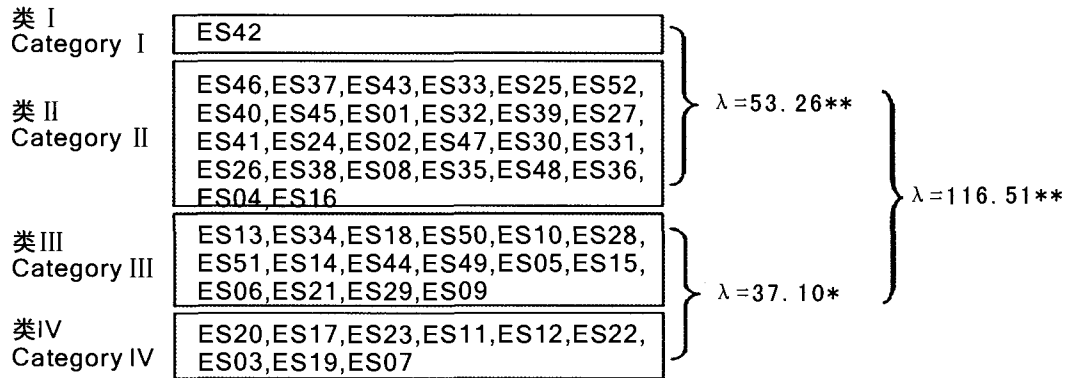


图 2 52 份普通荞麦栽培品种资源 72 h 根伸长量的 Scott-Knott 聚类分析结果

Fig. 2 Scott-Knott clustering analysis of the average root length after 72 h culture among 52 common buckwheat accessions

育种和耐铝性机制研究有重要意义。

同一浓度铝溶液处理条件下, 溶液 pH 值的变化对荞麦根的生长有一定影响(李朝苏等, 2004)。刘厚田等(1992)和董爱华等(2002)研究表明, 随着处理溶液 pH 值的变化, 铝存在的形态发生变化, 从而对植物产生不同的影响。研究表明: 当溶液 pH 值为 4.5 左右时,  $Al^{3+}$  在溶液中所占的比例最大(孔繁翔等, 2000; 章文华等, 2002; 刘拥海等, 2004)。因此, 本研究中铝溶液使用 pH 值 4.5, 从而能稳定有效地对普通荞麦品种耐铝性差异进行鉴定。

致谢 本研究得到西北农林科技大学柴岩教授和贵州威宁农科所毛春所长在实验材料上的支持, 以及贵州师范大学植物遗传育种研究所周晨、石维明、郭玉珍、王甜、李建辉、范燕、任翠娟、盛茂银、王爱国的协助和帮助, 在此一并致以衷心的感谢!

参考文献:

王芳, 刘鹏, 范章月. 2005a. 铝胁迫下荞麦根系生理特性的变化[J]. 浙江农业科学, 4: 289-293  
 王天行, 张泽. 1992. 多元生物统计学[M]. 成都: 成都科技大学出版社  
 林汝法. 1994. 中国荞麦[M]. 北京: 中国农业出版社: 97-104  
 Chen QF(陈庆富). 2001. Karyotype analysis of five *Fagopyrum* species native to China(五个中国荞麦种的核型分析)[J]. *Guihaia*(广西植物), 21(2): 107-110  
 Dong AH(董爱华), Jia XY(贾秀英). 2002. Effect of acidity and Al on the germination of two barley cultivar seeds soaked in dif-

ferent  $AlCl_3$  concentrations(酸铝浸种对大麦萌发的影响)[J]. *J Hangzhou Teachers Coll(Nat Sci)*(杭州师范学院学报·自然科学版), 1(1): 59-62  
 Kochain LV. 1995. Cellular mechanisms of Al toxicity and resistance in plants[J]. *Annu Rev Plant Mol Biol*, 46: 237-260  
 Kong FX(孔繁翔), Sang WL(桑伟莲). 2004. Physiological and biochemical response of Al-sensitive and Al-tolerant wheat to Al(小麦铝抗性和敏感品系对铝胁迫的生理生化反应)[J]. *Chin J Appl Environ Biol*(应用与环境生物学报), 10(5): 559-562  
 Li CS(李朝苏), Liu P(刘鹏), Xu GD(徐根娣), et al. 2004. Effect of acid-Al on the germination of soaked buckwheat seeds(酸铝浸种对荞麦种子萌发的影响)[J]. *Seed*(种子), 23(12): 9-11  
 Lin RF(林汝法), Zhou YN(周运宁), Wang R(王瑞), et al. 2001. A study on the extract of tartary buckwheat I. toxicological safety of the extract of tartary buckwheat. Proceedings of the 8th International Symposium on Buckwheat, Chunchon, Korea [M]. *Advances in Buckwheat Research*: 602-607  
 Liungany M, Poschennjeder C, Barcelo J. 1995. Monitoring of Al-induced inhibition of root elongation in four maize cultivars differing in tolerance to Al and proton toxicity[J]. *Physiol Plant*, 93: 265-271  
 Liu HT(刘厚田), Tian RS(田仁生). 1992. The relationships between dead of Chinese red pine (*Pinus massoniana*) native to Chongqing and the Al activation in soil(重庆南山马尾松死亡与土壤铝活化的关系)[J]. *J Environ Sci*(环境科学学报), 12(3): 27-29  
 Liu Q(刘强), Zheng SJ(郑绍建), Lin XY(林咸永). 2004. Plant physiological and molecular biological mechanism in response to Al toxicity(植物适应铝毒胁迫的生理及分子生物学机理)[J]. (下转第 196 页 Continue on page 196 )

破坏。由于岩溶生态系统的脆弱性,抗外界干扰能力弱,植被易于破坏难于恢复。因此,封山育林,减少人为干扰是保护岩溶地区植被的必要措施。

### 参考文献:

- 中国科学院植物研究所. 1983. 中国高等植物图鉴[M]. 北京: 科学出版社
- 张金屯. 2004. 数量生态学[M]. 北京: 科学出版社: 214—218
- Edward W B, Robert J H, Arthur W B. 1997. Upland plant community classification in Elk Island national park, Alberta, Canada, using disturbance history and physical site factors[J]. *Plant Ecol*, **130**: 171—190
- Guo YP(郭艳萍), Zhang JT(张金屯), Liu XZ(刘秀珍). 2005. Study on the species diversity of the plant community in Tianlong Mountain, Shanxi(山西天龙山植物群落物种多样性研究)[J]. *J Shanxi Univ(Nat Sci)*(山西大学学报·自然科学版), **28**(2): 205—208
- Huang YD(黄雅丹), Xie Q(谢强). 2003. A preliminary study on the ecological distribution of bryoflora karst stone hill in Guilin(桂林岩溶石山苔藓植物生态分布初探)[J]. *Carsol Sin*(中国岩溶), **4**(22): 299—305
- Hill M O, Bunce R G H, Shaw M W. 1975. Indicator species analysis, a divisive polythetic method of classification and its application to a survey of native pinewoods in Scotland[J]. *J Ecol*, **63**: 597—613
- Hill MO. 1979. TWINSpan—a FORTRAN program for arranging multivariate data in an ordered two-way table by classification of the individuals and attributes. *Ecology and Systematic*, Ithaca [M]. New York: Cornell University press
- Li XK(李先琨), Su ZM(苏宗明), Lu SH(吕仕洪), et al. 2003. The spatial pattern of natural vegetation in the karst regions of Guangxi and the ecological significance for ecosystem rehabilitation and reconstruction(广西岩溶植被自然分布规律及对岩溶生态恢复重建的意义)[J]. *J Mount Sci*(山地学报), **21**(2): 129—130
- Li XR(李新荣), Zhang XS(张新时). 1999. Biodiversity of shrub community in desert steppe and steppe desert on Erdos plateau(鄂尔多斯高原荒漠化与草原化荒漠灌木类群生物多样性的研究)[J]. *Chin J Appl Ecol*(应用生态学报), **10**(6): 665—669
- Liang SC(梁士楚), Wang BS(王伯荪). 2001. Species diversity of *Carpinus pubescens* community and its jackknife estimation(云贵鹅耳枥群落物种多样性及其刀切法估计)[J]. *J Trop Subtrop Bot*(热带亚热带植物学报), **9**(2): 129—135
- Suh MH, Lee DK. 1998. Stand structure and regeneration of *Quercus mongolica* forests in Korea[J]. *Fore Ecol Management*, **106**: 27—34
- Xu B(许彬), Zhang JT(张金屯), Yang HX(杨洪晓), et al. 2006. Quantitative analysis of plant communities in Baihua Mountains, Western Beijing(京西百花山植物群落数量分析)[J]. *J Beijing Normal Univ(Nat Sci)*(北京师范大学学报·自然科学版), **42**(1): 90—94
- Zhang JT. 2005. Succession analysis of plant communities in abandoned croplands in the eastern Loess Plateau of China[J]. *J Arid Environ*, **63**: 458—474
- Zhang ZH(张朝晖), Zhao CH(赵传海), Li XN(李晓娜), et al. 2005. Bryophytes of karst caves in Guilin area, China(中国桂林岩溶洞穴苔藓植物研究)[J]. *Guihaia*(广西植物), **25**(2): 107—111
- Chin J Appl Ecol(应用生态学报), **15**(9): 1 641—1 649
- Liu RA(柳若安), Liu HT(刘厚田). 1995. Effect of acidity and Al on the Growth of *Pinus massoniana* seedlings(酸度和铝对马尾松生长的影响)[J]. *Acta Bot Sin*(植物学报), **37**(2): 154—158
- Liu YH(刘拥海), Yu LE(俞乐). 2004. Relationship on the differences of soybean cultivars in Al tolerance and organic acids(大豆耐铝性品种差异及其与有机酸的关系)[J]. *Guihaia*(广西植物), **24**(6): 554—557
- Ma JF, Zheng SJ, Li XF, et al. 1997. A rapid hydroponic screening for Al tolerance in baley[J]. *Plant Soil*, **191**: 133—137
- Ma JF, Hiradate S, Matsumoto H. 1998. High Al resistance in buckeheat. II. Oxalic acid detoxifies Al internally[J]. *Plant physiol*, **117**: 753—759
- Ownby JD, Popham HR. 1990. Citrate reverses the inhibition of wheat root growth caused by Al[J]. *J Plant Physiol*, **135**: 588—591
- Sheng RF, Ma JF. 2001. Distribution and mobility of Al in an Al-accumulating plant *Fagopyrum esculentum*[J]. *J Exp Bot*, **52**: 1 683—1 687
- Sheng RF, Ma JF, Kyo M. 2002. Compartmentation of Al in leaves of an Al-accumulator, *Fagopyrum esculentum* [J]. *Planta*, **215**: 394—398
- Sheng H(沈宏), Yan XL(严小龙). 2001. Types of Al toxicity and plants resistance to Al toxicity(铝对植物的毒害和植物抗铝毒机理及其影响因素)[J]. *Chin J Soil Sci*(土壤学报), **32**(6): 281—285
- Taylor GJ. 1989. Al toxicity and tolerance in plants[M]//Asriano DC, Johnson AH. Acidic Precipitation Biological and Ecological Effects. New York: Springer-Verlag, **2**: 327—361
- Wang F(王芳), Liu P(刘鹏), Xu GD(徐根娣), et al. 2005b. Effects of Al on some physiological characters of buckwheat(铝对荞麦生理影响的研究)[J]. *J Agro-Environ Sci*(农业环境科学学报), **24**(4): 678—681
- Wang F(王芳), Liu P(刘鹏), Xu GD(徐根娣), et al. 2006. Effects of Al amount in soil on the root growth of buckwheat(铝对荞麦根系的影响)[J]. *Guihaia*(广西植物), **26**(3): 321—324
- Zhang WH(章文华), Ma JF(马建锋), Liu YL(刘友良). 2002. Sites of Al uptake and oxalic acid secretion in buckwheat roots(荞麦根吸收铝和分泌草酸的部位)[J]. *Plant Physiol Commun*(植物生理学通讯), **38**(1): 9—11
- Zhang YZ(张以忠), Chen QF(陈庆富). 2004. Status and prospect of buckwheat research(荞麦研究的现状与展望)[J]. *Seeds*(种子), **23**(3): 39—42
- Zheng SJ, Ma JF, Matsumoto H. 1998. Continuous secretion of organic acids is related to Al resistance during relatively long-term exposure to Al stress[J]. *Physiol Plant*, **103**: 209—214

(上接第 205 页 Continue from page 205)